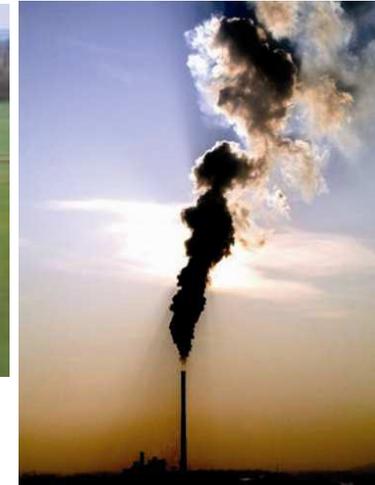
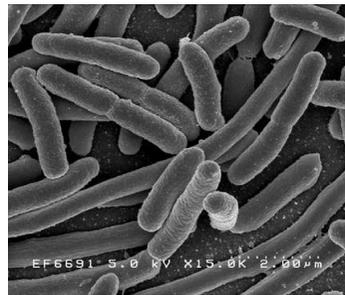
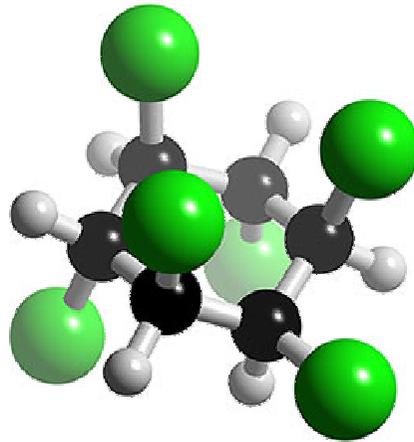




# Les contaminants des sols : priorités, projets, perspectives



**Claudy Jolivet**  
**US 1106 InfoSol Inra Orléans**  
**[claudy.jolivet@orleans.inra.fr](mailto:claudy.jolivet@orleans.inra.fr)**



pour une gestion patrimoniale et durable des sols



# Les contaminants des sols

---

Selon la Convention internationale OSPAR<sup>1</sup>,  
un contaminant de l'environnement est :

« *Toute substance décelée dans un lieu où elle ne se trouve pas normalement* »

Un sol est dit *pollué* quand il contient un ou plusieurs polluant(s) ou contaminant(s) susceptibles de causer des *altération biologiques, physiques et chimiques* de l'écosystème constitué par le sol.

<sup>1</sup> Convention pour la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est



# Les contaminants potentiels des sols

---

- **éléments traces** : As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, Zn, etc.
- **contaminants organiques** : HAP, PCB, dioxines, furanes, pesticides, etc.
- **radioéléments** : Cs, Sr, I, Cl, etc.
- **pathogènes** : microorganismes, prions, parasites, etc.
- **contaminants émergents** : perturbateurs endocriniens (phtalates, bisphénol A, polybromés, alkylphénols, hormones...), transgènes, nanoparticules, etc.



# Caractéristiques de la contamination des sols



- **anthropique vs pédogéochimique**
- **locale vs diffuse**
- **industrielle, agricole, urbaine, routière**
- **chimique, physique, biologique**
- **historique : accumulation vs transfert**



## Questions posées

---

Comment les programmes menés par le Gis Sol permettent de répondre à l'évaluation de la contamination des sols ?

Quels sont les contaminants qui ne sont pas recherchés et qui devraient être suivis ?



# Les contaminants mesurés dans les programmes du Gis Sol

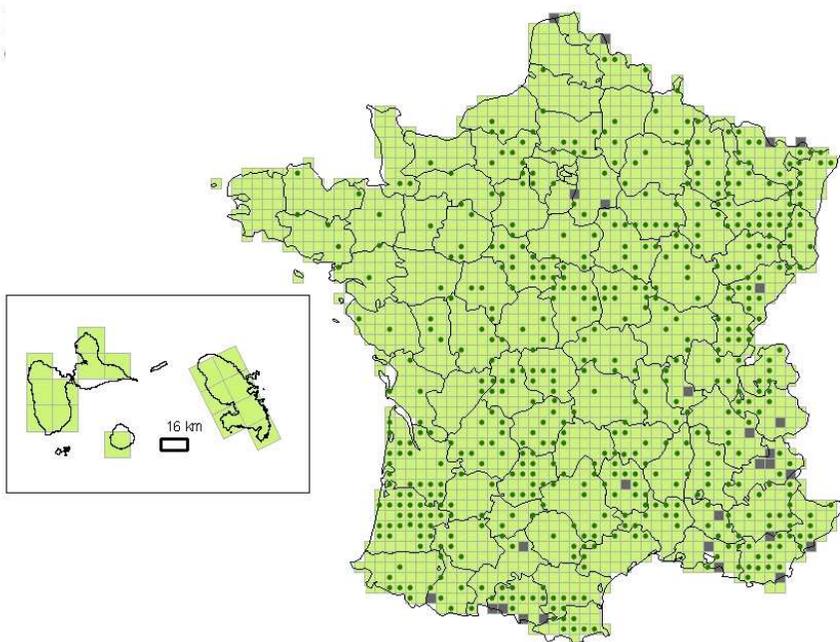
---

- **éléments traces** : As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, Zn, etc.
- **contaminants organiques** : HAP, PCB, dioxines, furanes, pesticides, etc.
- **radioéléments** : Cs, Sr, I, Cl, etc.
- **pathogènes** : microorganismes, prions, parasites, etc.
- **contaminants émergents** : perturbateurs endocriniens (phtalates, bisphénol A, polybromés, alkylphénols, hormones...), transgènes, nanoparticules, etc.



# Les sources de données : RMQS et BDETM

**RMQS : 2 200 sites**  
**167 200 déterminations**

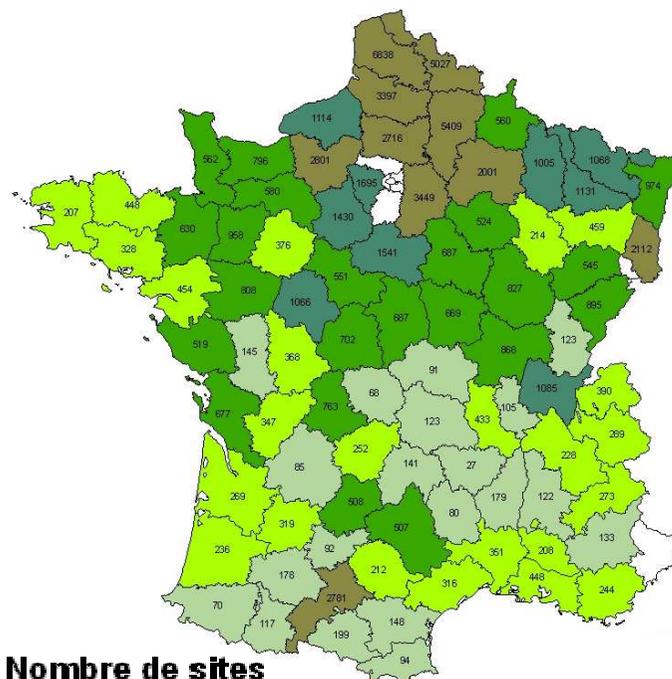


### Etat d'avancement

- Prélevé
- Prélèvement impossible

1<sup>ère</sup> campagne :  
2000 - 2009

**BDETM : 74 000 échantillons**  
**520 000 déterminations**



### Nombre de sites

- < 200
- 201 - 500
- 501 - 1000
- 1001 - 2000
- 2001 - 8838

2 campagnes :  
1998 et 2008



# Les éléments traces

Les éléments traces sont les 80 éléments chimiques dont la concentration, dans la croûte terrestre, est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %

• **ETM**

• Quels niveaux ?

• Gradients de contamination diffuse ?

• Anomalies ponctuelles ?

• Valeurs seuils ?

• Origine ?

**Tableau périodique des éléments**

• **ETM**

• Quels niveaux ?

• Gradients de contamination diffuse ?

• Anomalies ponctuelles ?

• Valeurs seuils ?

• Origine ?

légende : métaux alcalins, métaux alcalino-terreux, lanthanides, actinides, métaux de transition, autres métaux, métalloïdes, non-métaux, halogènes, gaz nobles, primordial, éléments naturels, éléments synthétiques.



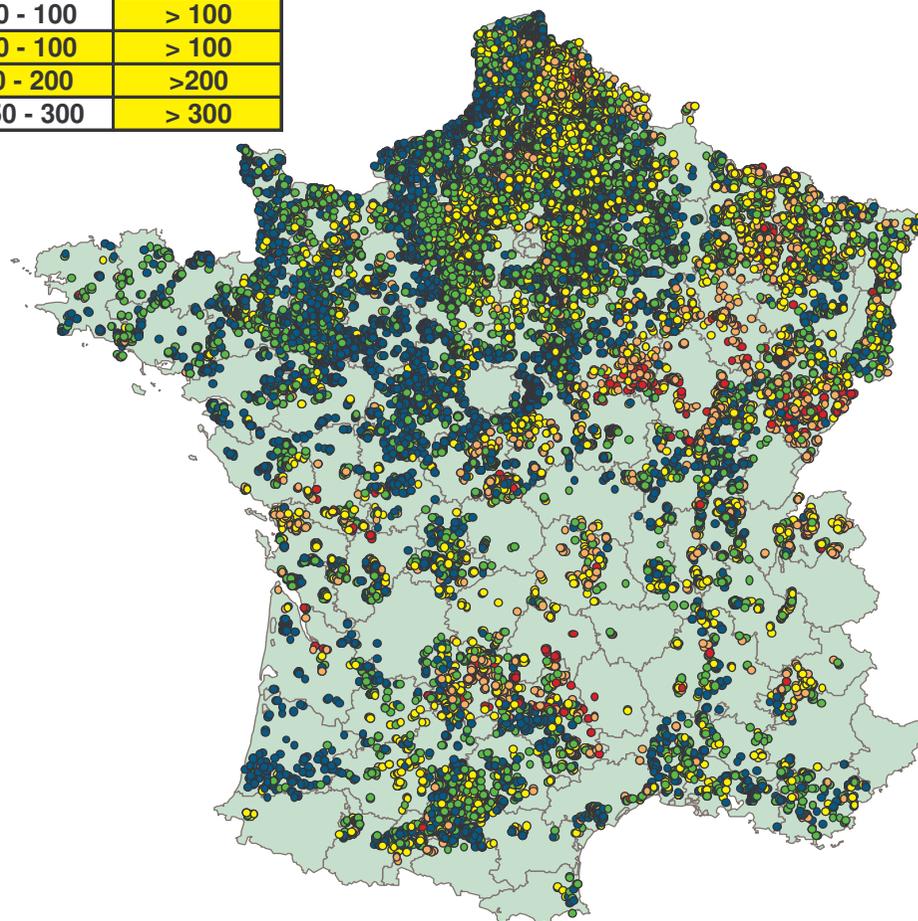
# détection de valeurs anormales : indice de charge multimétallique

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Cadmium	< 0,25	0,25 - 0,35	0,35 - 0,50	0,50 - 1,00	1,00 - 2,00	> 2,00
Chrome	< 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100	100 - 150	> 150
Cuivre	< 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	> 100
Nickel	< 15	15 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 100	> 100
Plomb	< 20	20 - 35	35 - 50	50 - 80	80 - 200	>200
Zinc	< 30	30 - 60	60 - 100	100 - 150	150 - 300	> 300

BDETM  
Couche de surface  
ICMM

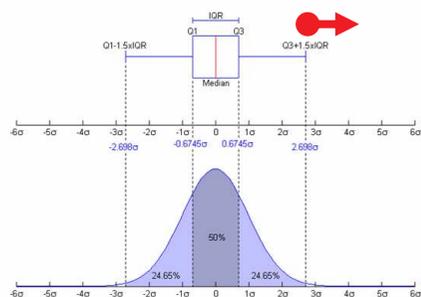
ICMM

- 6 - 9
- 9 - 12
- 12 - 15
- 15 - 20
- 20 - 26
- 26 - 31



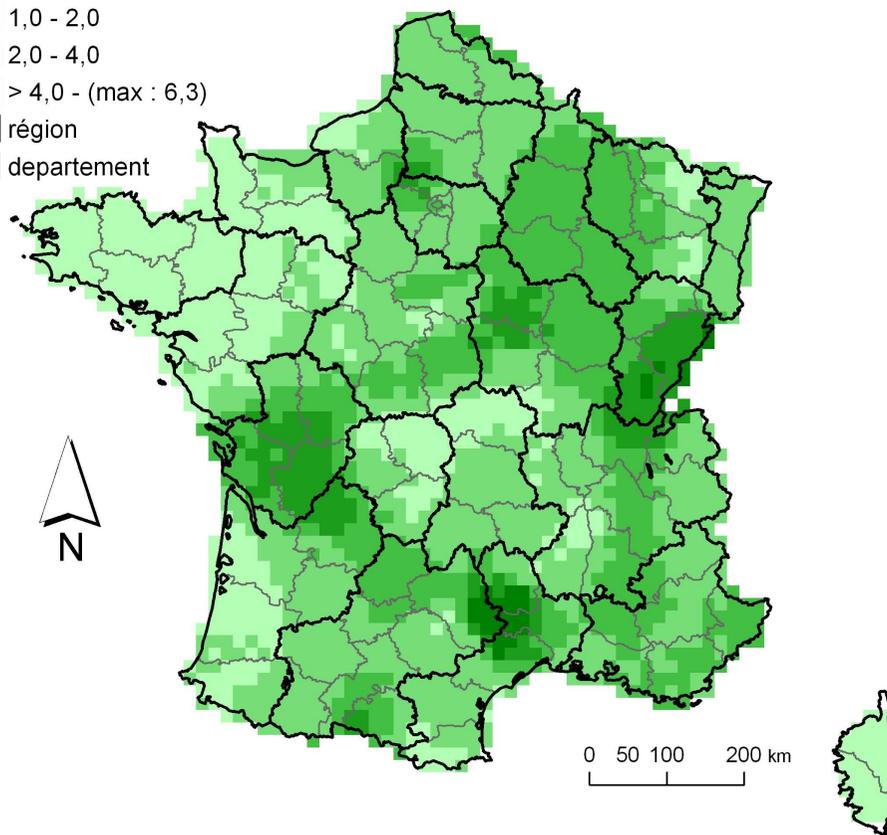
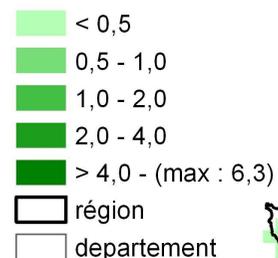


# détection de valeurs anormales : teneurs habituelles maximales



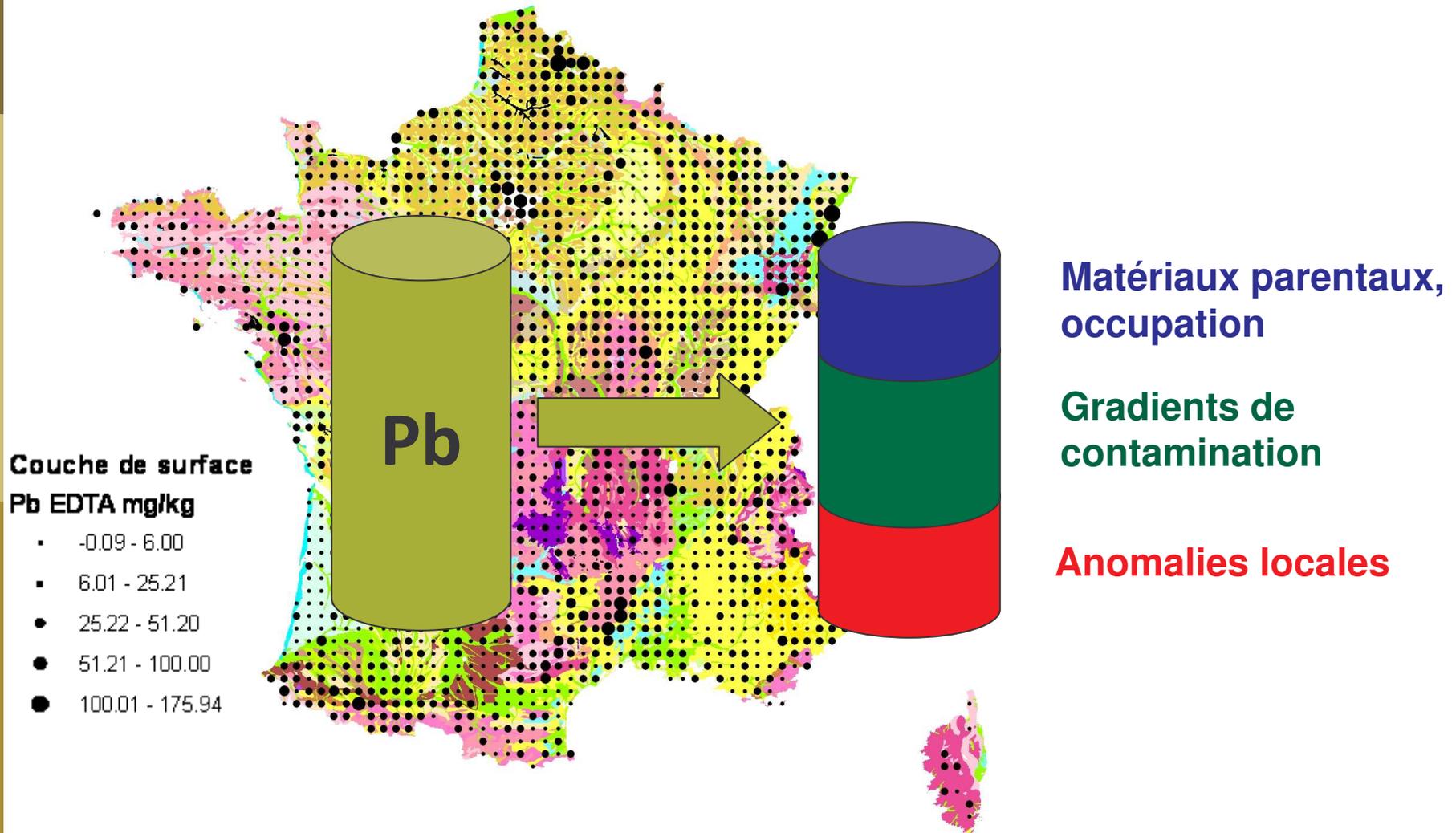
RMQS  
Cadmium total  
Surface (0-30 cm)  
Vibrisse supérieure

Teneurs habituelles maximales en Cadmium (mg/kg)





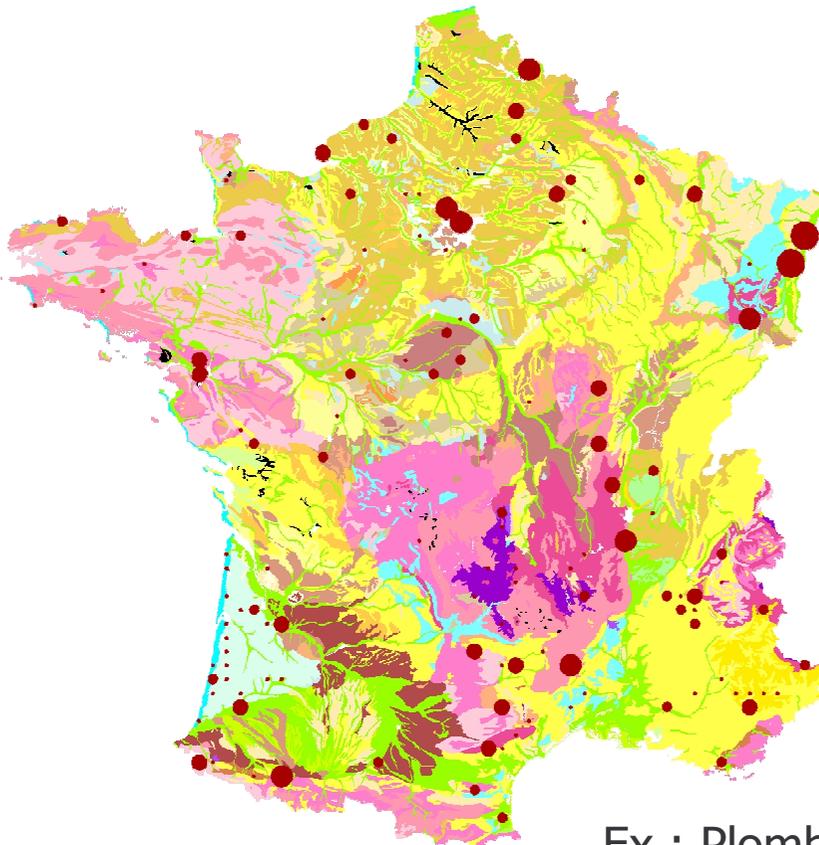
# Comment distinguer les origines : Modèle linéaire mixte et géostat robustes



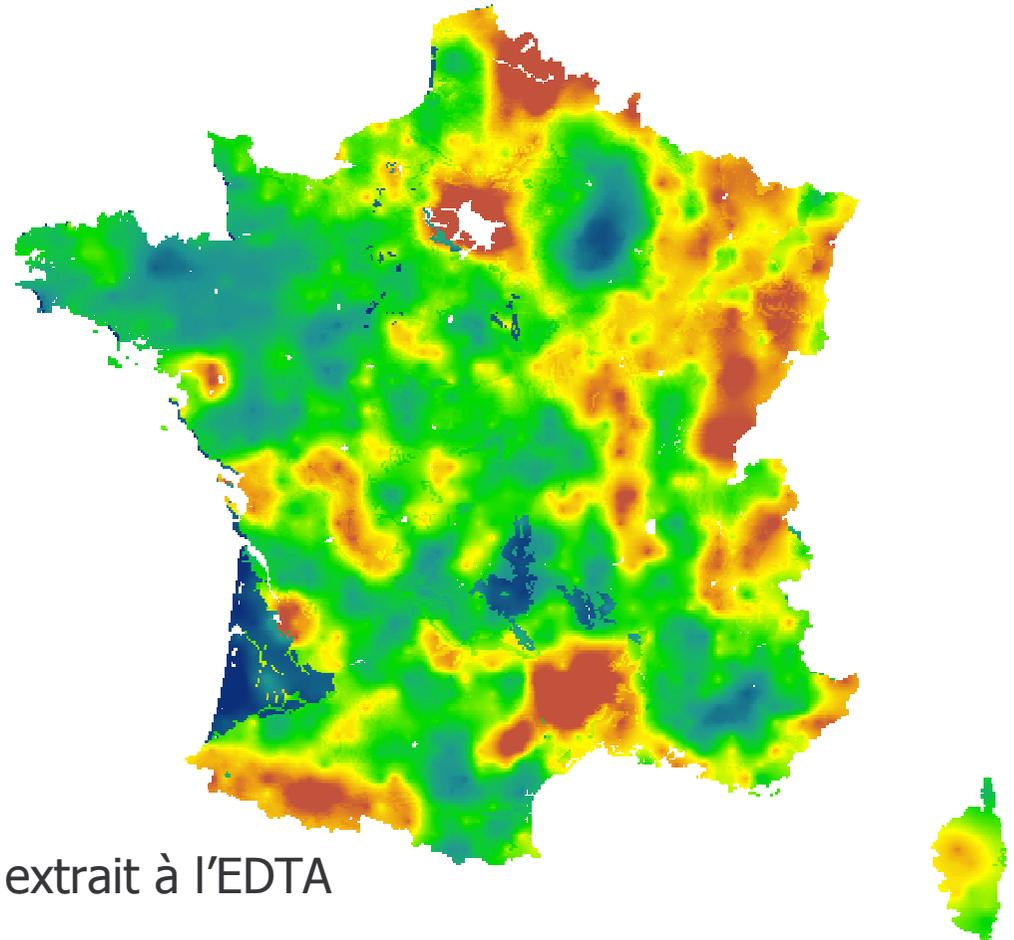


# Comment distinguer les origines : Modèle linéaire mixte et géostat robuste

## Anomalies locales



## Matériaux parentaux et Gradients de contamination

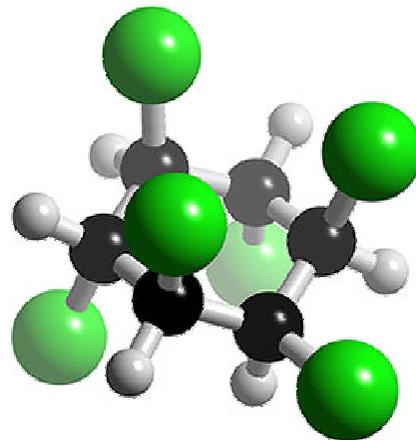


Ex : Plomb extrait à l'EDTA

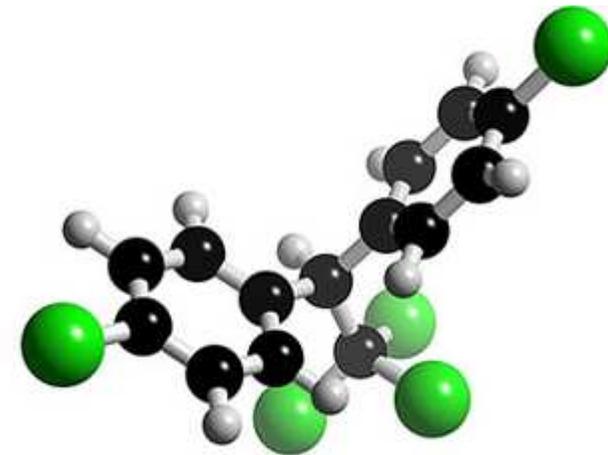


# Les polluants organiques persistants (POP)

Molécules présentant une toxicité reconnue, une forte persistance dans l'environnement, des propriétés de bioaccumulation et de transport à longue distance (Ademe)



Molécule de lindane :  $\gamma$ HCH HexachloroCycloHexane

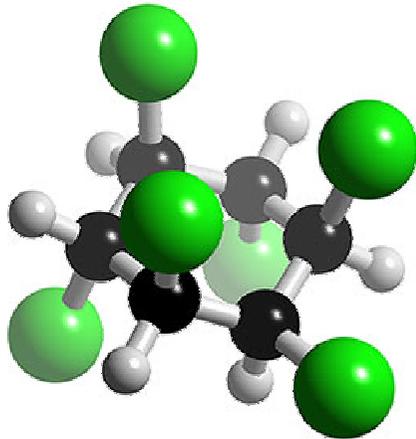


Molécule de DDT : DichloroDiphenylTrichloroéthane



# Le projet POP-RMQS

- Peut-on les détecter ?
- Peut-on les cartographier ?





# Le projet POP-RMQS : 90 molécules analysées

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**PCB** : PolyChloroBiphényles (ex : pyralène)

**PCDD et PCDF** : PolyChloroDibenzoDioxines et PolyChloroDibenzoFuranes (dioxines et furanes)

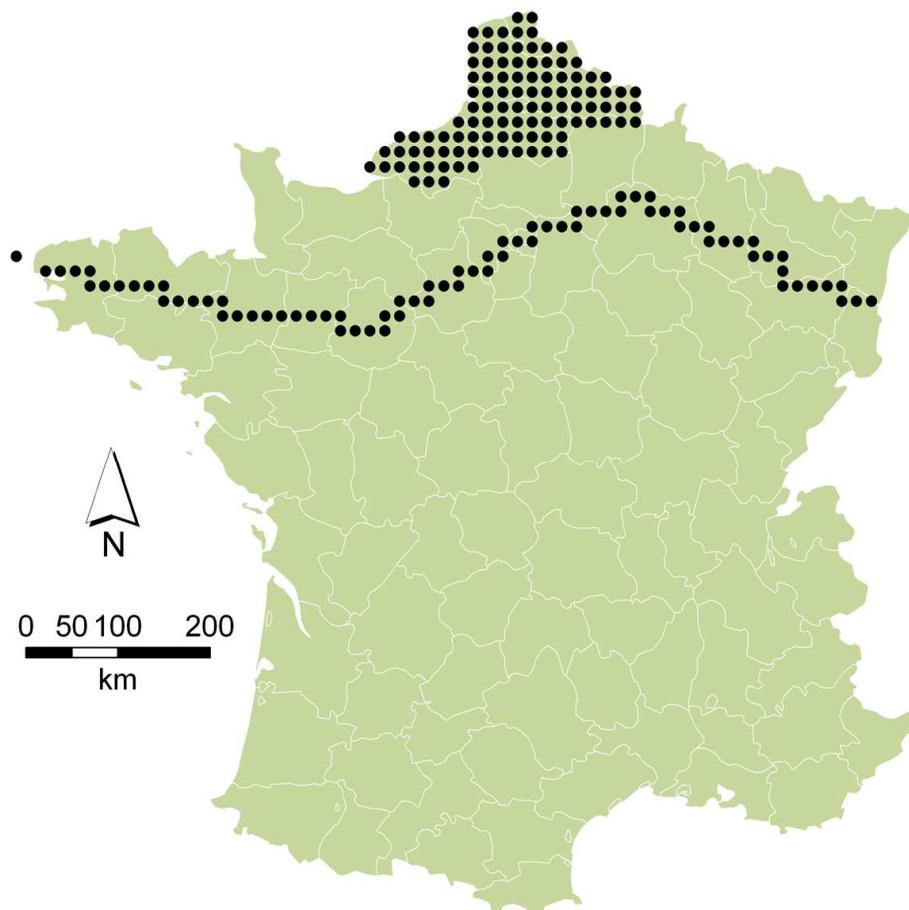
**Pesticides** :

- **OCP** : Pesticides OrganoChlorés : (ex. : DDT, lindane)
- **Herbicides** : Triazines (ex. : atrazine, simazine)  
Urées substituées (ex. : diuron, monolinuron)





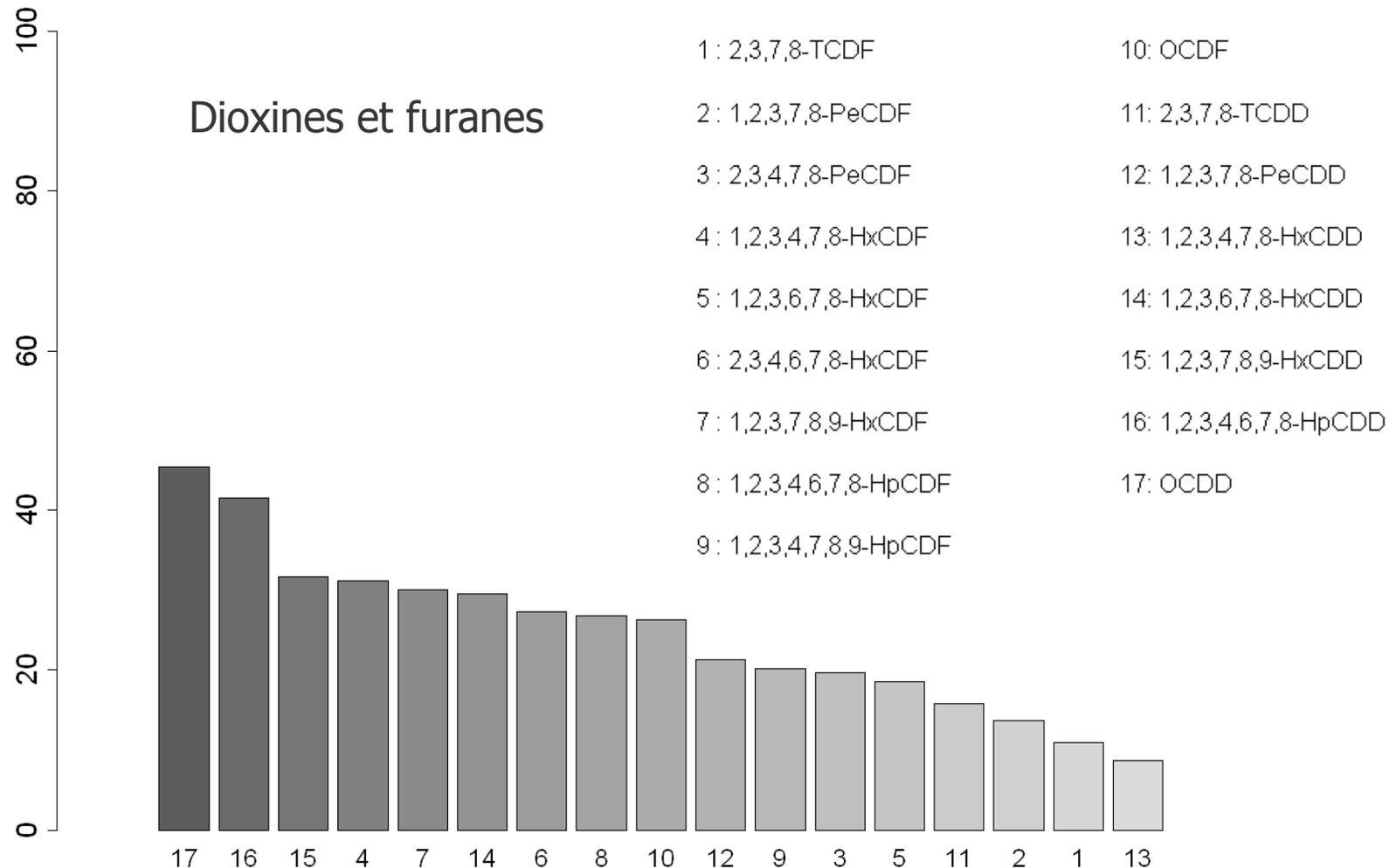
## Le projet POP-RMQS : 183 sites



- 105 sites répartis selon un gradient péri-urbain et agricole/industriel : Nord Pas de Calais, Somme et Seine Maritime
- 78 sites répartis selon un transect Ouest-Est recouvrant des stations de mesures de dépôts humides de pesticides

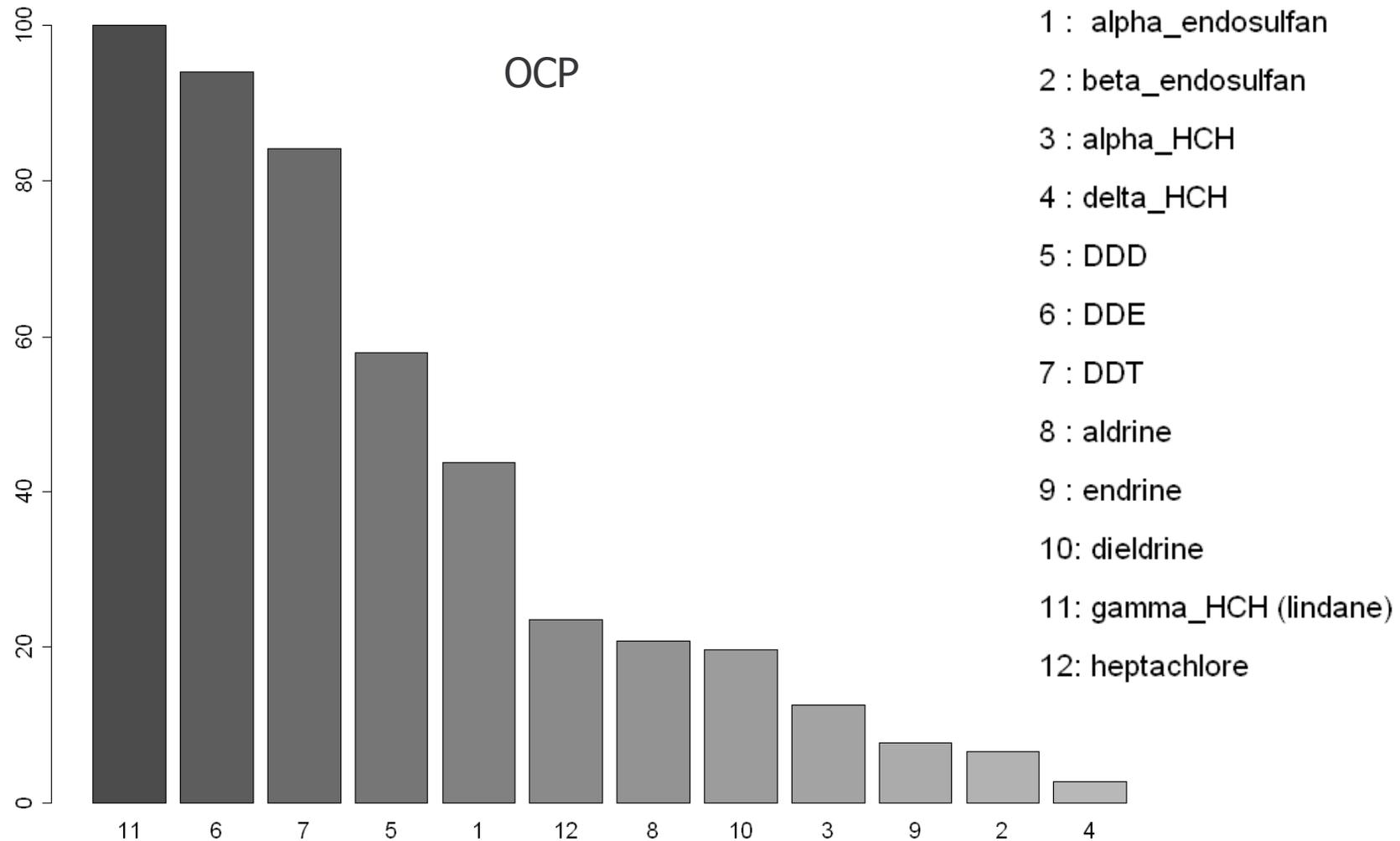


# POP-RMQS : peut-on détecter des POP dans les sols ?



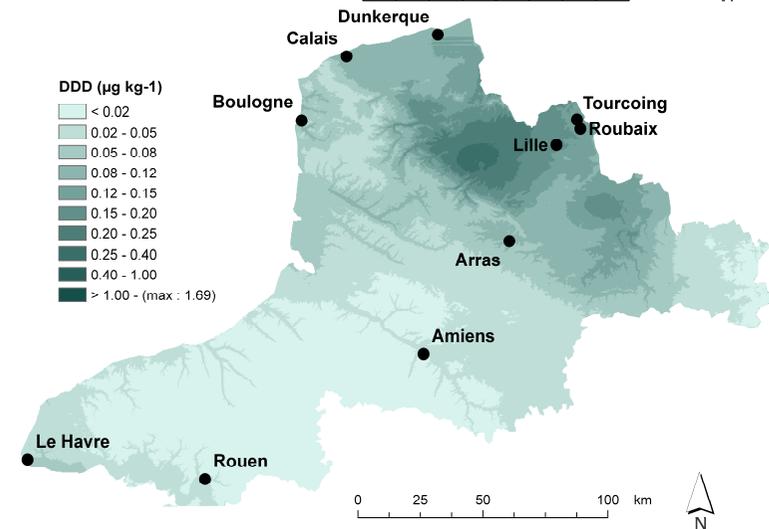
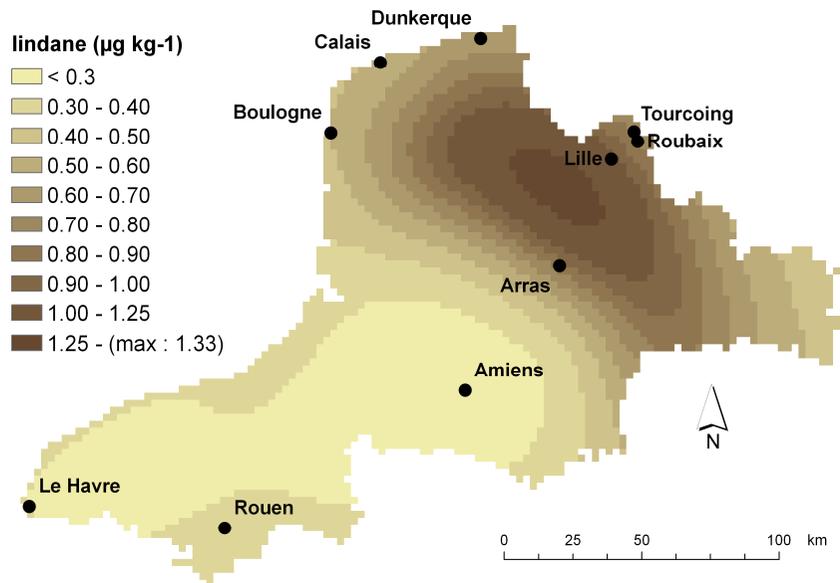
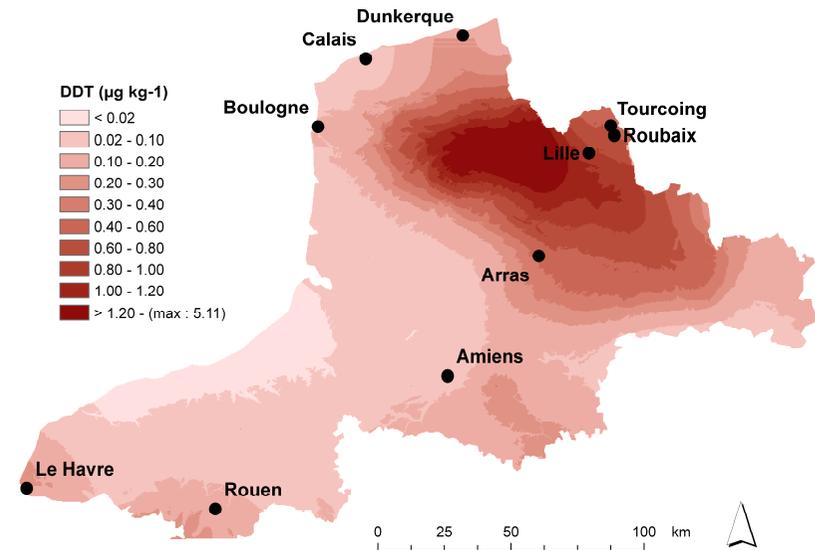


# POP-RMQS : peut-on détecter des POP dans les sols ?





# POP-RMQS : peut-on cartographier des gradients ?





Analyse de la distribution géographique des OCP et HAP dans les sols de France sur la base d'un sous échantillonnage du RMQS



## 550 sites RMQS (1/4)

### 13 OCP

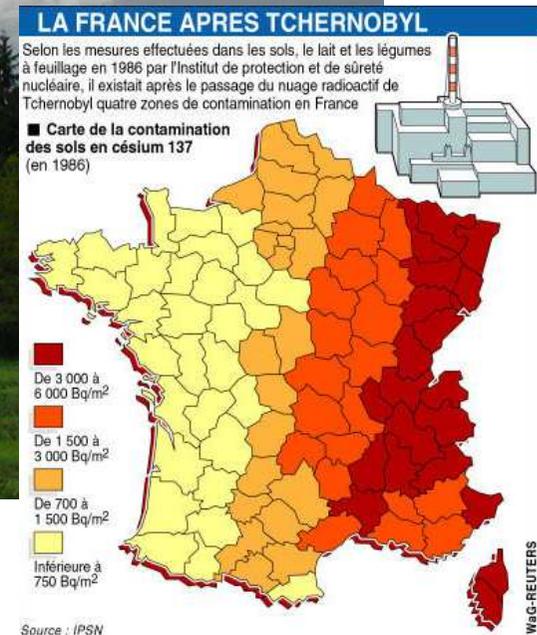
- alpha HCH
- beta HCH
- lindane (gamma HCH)
- delta HCH
- DDT
- DDD
- DDE
- alpha endosulfan
- bêta endosulfan
- heptachlore
- aldrine
- endrine
- dieldrine

### 16 HAP

- Naphtalène
- Acénaphtylène
- Acénaphène
- Fluorène
- Phénanthrène
- Anthracène
- Fluoranthène
- Pyrène
- Benzo(a)anthracène
- Chrysène
- Benzo(b)fluoranthène
- Benzo(k)fluoranthène
- Benzo(a)pyrène
- Indéno(1,2,3-cd)pyrène
- Dibenzo(a,h)anthracène
- Benzo(g,h,i)pérylène



# Les radioéléments





# Projet RMQS-CHLORE 36

Caractérisation de la variabilité des teneurs en chlore organique et inorganique des sols

## 45 sites RMQS sélectionnés selon usage et propriétés pédologiques

Selection Projet ANDRA Chlore 36 - 18/11/2009  
© RMQS - GIS SOL - INRA Orléans

Occupation des sites

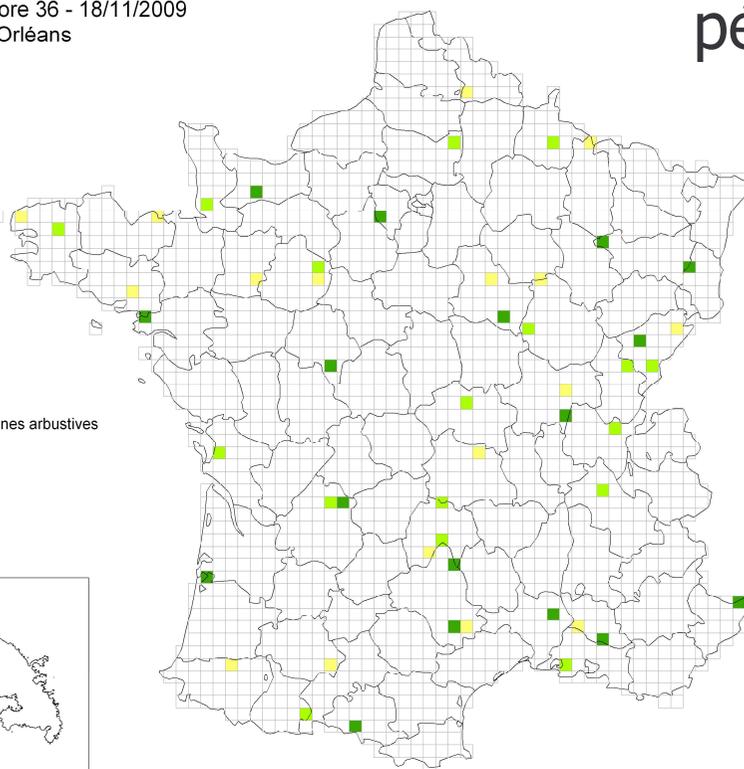
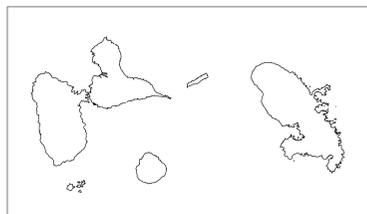
- Cellules RMQS
- Limites des départements

**Occupation des sites**

**Occupation niveau 1**

- parcs et jardins
- successions culturales
- surfaces boisées
- surfaces toujours en herbe
- vignes vergers et cultures pérennes arbustives
- milieux naturels particuliers
- friches

Guadeloupe et Martinique



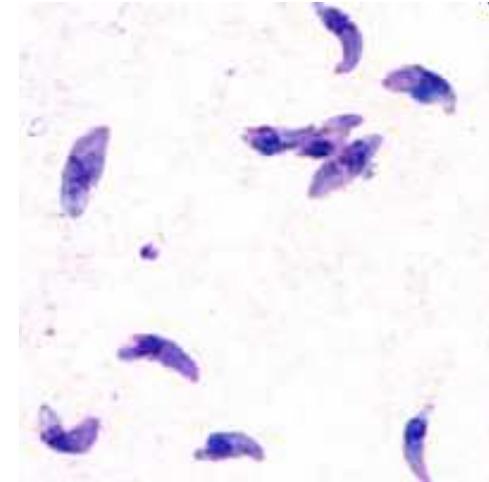
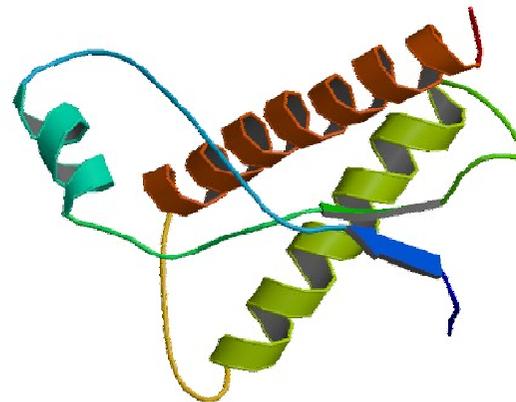
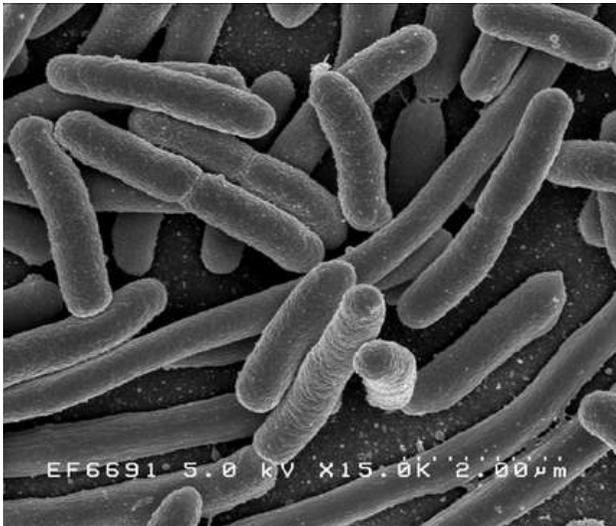
Le chlore 36 est un élément dont la persistance potentielle dans la biosphère est associée à la chlorination de la matière organique et à la dynamique de recyclage du chlore stable



# Les pathogènes

Un **agent infectieux** (ou **agent pathogène**) est un agent biologique responsable d'une maladie infectieuse.

Les agents infectieux peuvent être des virus, des bactéries, des parasites (protozoaires, helminthes) ou des protéines de type prions.

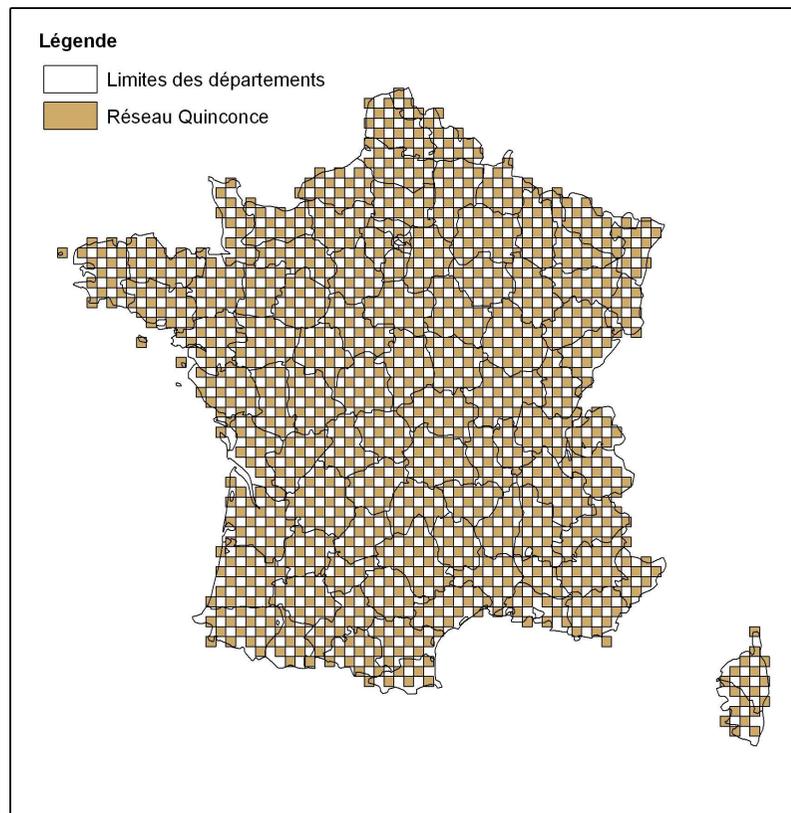




# Le projet PATHO-RMQS

Répartition géographique des bactéries pathogènes de l'Homme  
dans les sols: effet des constituants et de l'urbanisation

**1 450** sites  
**16** bactéries pathogènes



## Pathogènes primaires :

- *Listeria monocytogenes*
- *Salmonella typhimurium*
- *Clostridium difficile*
- *Enterococcus faecalis*
- *Staphylococcus aureus*
- *Escherichia coli*
- *Burkholderia pseudomallei*

## Pathogènes opportunistes :

- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Burkholderia cenocepacia*
- *Burkholderia multivorans*
- *Stenotrophomonas maltophilia*
- *Nocardia asteroides*
- *Acinetobacter baumannii*
- *Achromobacter xylosoxidans*
- *Aeromonas hydrophila*
- *Aeromonas caviae*



# Le projet PATHO-RMQS

Répartition géographique des bactéries pathogènes de l'Homme  
dans les sols: effet des constituants et de l'urbanisation

<b>Espèce bactérienne</b>	<b>Nombre échantillons testés</b>	<b>Nombre échantillons positifs</b>	<b>% sites positifs sur la France</b>	<b>Valeur de détection (copies/g sol)</b>
<b><i>Enterococcus faecalis</i></b>	<b>939</b>	<b>483</b>	<b>51</b>	<b><math>5.10^1 - 3.10^7</math></b>
<b><i>Listeria monocytogenes</i></b>	<b>939</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b><math>3.10^4</math></b>
<b><i>Escherichia coli</i></b>	<b>518</b>	<b>484</b>	<b>83</b>	<b><math>1.10^3-1.10^5</math></b>
<b><i>Acinetobacter baumannii</i></b>	<b>795</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-</b>



# Les contaminants potentiels des sols : questions

---

- Élargir à la France entière ? Ex : POP
- Nouveaux contaminants ? ex : As, Hg, Cs, émergents, etc.



# Les contaminants potentiels des sols : questions

---

- **éléments traces** : As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, Zn, etc.
- **contaminants organiques** : HAP, PCB, dioxines, furanes, pesticides, etc.
- **radioéléments** : Cs, Sr, I, Cl, etc.
- **pathogènes** : microorganismes, prions, parasites, etc.
- **contaminants émergents** : perturbateurs endocriniens (phtalates, bisphénol A, polybromés, alkylphénols, hormones...), transgènes, nanoparticules, etc.



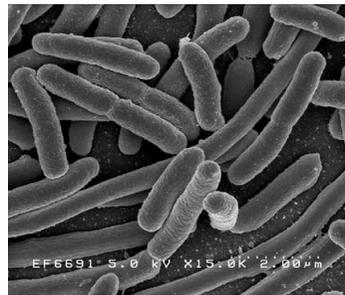
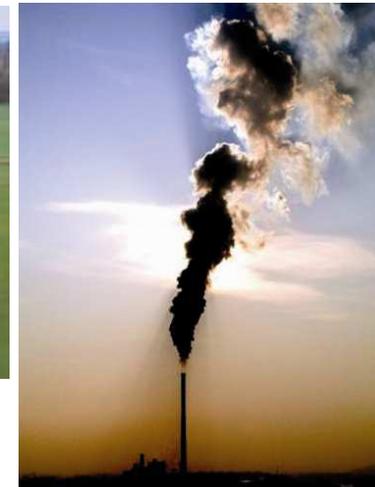
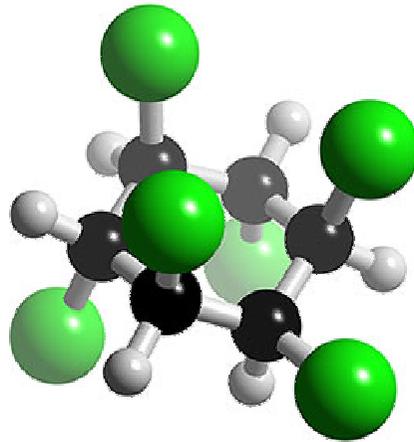
# Les contaminants potentiels des sols : perspectives

---

- Faut-il élargir à la France entière ? ex : POP
- Faut-il explorer de nouveaux contaminants ? ex: As, Hg, radioéléments, contaminants émergents, etc.
- Faut-il explorer de nouvelles formes de contaminants ? ex : ETM par extractants « doux », test de bioaccessibilité
- Faut-il développer des indicateurs ? ex: évaluation de l'exposition
- Y-a-t-il de grands oubliés ?

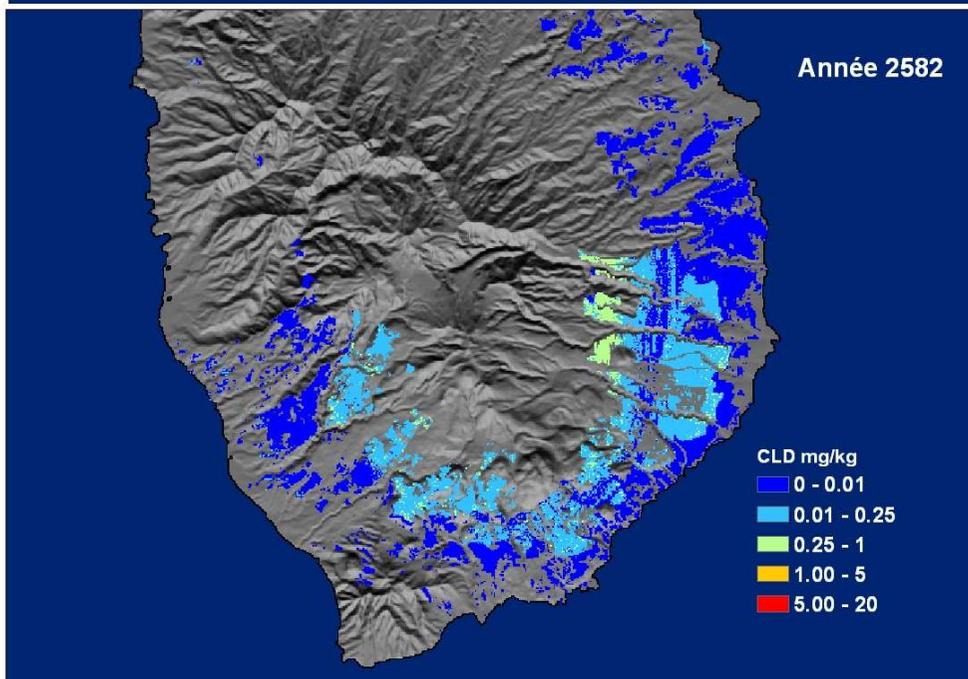
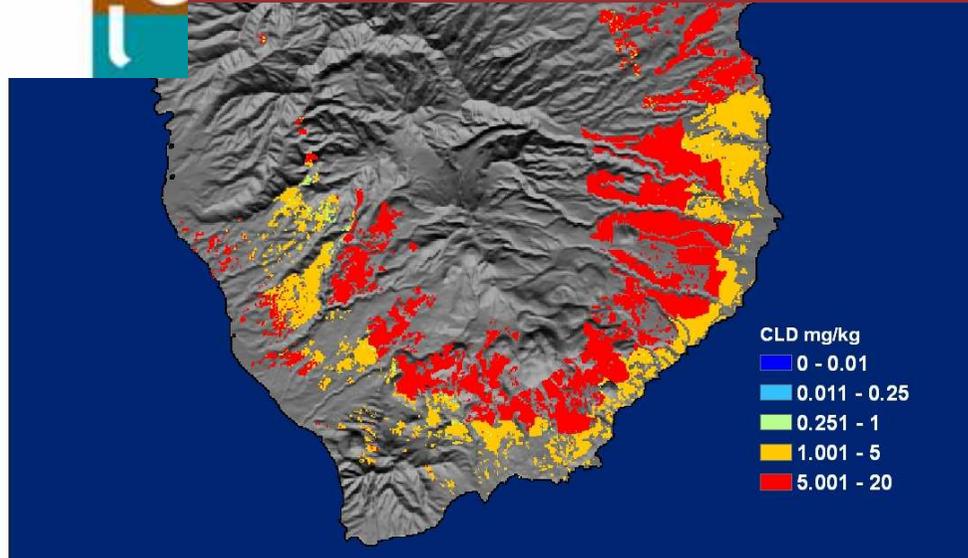


# Merci de votre attention



**Claudy Jolivet**  
**US 1106 InfoSol Inra Orléans**  
**[claudy.jolivet@orleans.inra.fr](mailto:claudy.jolivet@orleans.inra.fr)**

# Contamination des sols par la chlordécone aux Antilles



-  Pas de pollution
-  Pas d'incidence sur légumes très consommés
-  Pas d'incidence sur légumes peu consommés
-  **Risque sanitaire sur produits alimentaires**



# Projet SIGFRIED 1

## « SIG et indicateurs de l'environnement extérieur »

